

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-042146

(43)Date of publication of application : 16.02.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

G02B 5/18

G02B 6/293

(21)Application number : 11-216741

(71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22)Date of filing : 30.07.1999

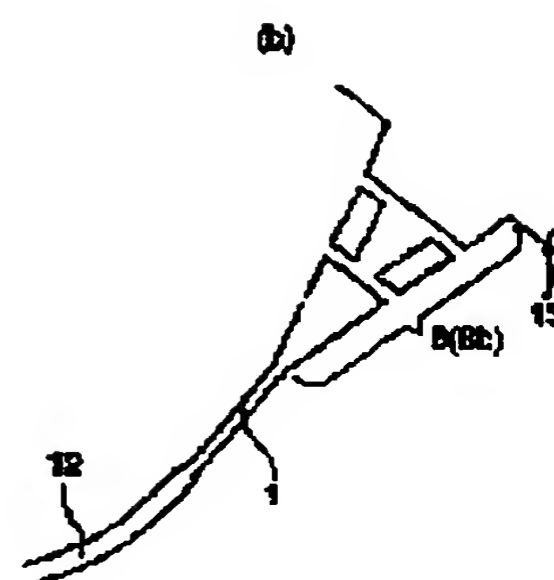
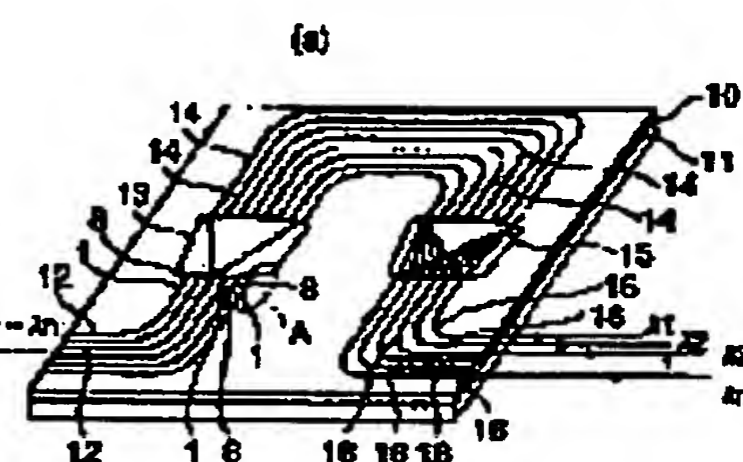
(72)Inventor : NARA KAZUTAKA  
NAKAJIMA TAKESHI  
KASHIWABARA KAZUHISA

## (54) ARRAY WAVEGUIDE DIFFRACTION GRATING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To form a flattened area with a superior flatness near the center wavelength of a passing spectrum.

SOLUTION: To each outgoing side of plural optical input waveguides 12, a linear waveguide 1 having a width not more than  $\lambda/1, \lambda/2, \lambda/3, \dots, \lambda/n$  is connected; to each of the outgoing side of the linear waveguides, a tapered waveguide 8 that widens the mode field of a signal light toward the outgoing side is connected; and then, connected to the outgoing side of the tapered waveguides are a first slab waveguide 13, plural parallelly placed array waveguides 14 each having a length different from each other, a second slab waveguide 15, and plural parallelly placed optical output waveguides 16, successively in this order. The center of the power of the optical signal that has propagated in the optical input waveguide 12 is moved to the center in the width direction by the linear waveguide 1, to make such optical signal power center incident on the center in the width direction of the incident end of the tapered waveguide 8, so that distortion of the mode field of the light emitted from the tapered waveguide 8 is suppressed, and a superior flattened area is formed near the center wavelength of a passing spectrum.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 31.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3448518

[Date of registration] 04.07.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-42146  
(P2001-42146A)

(43)公開日 平成13年2月16日(2001.2.16)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト(参考)
G 0 2 B	6/12	G 0 2 B	F 2 H 0 4 7
	5/18		2 H 0 4 9
	6/293	6/28	D

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平11-216741  
(22)出願日 平成11年7月30日(1999.7.30)

(71)出願人 000005290  
古河電気工業株式会社  
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号  
(72)発明者 奈良 一孝  
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内  
(72)発明者 中島 毅  
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内  
(74)代理人 100093894  
弁理士 五十嵐 清

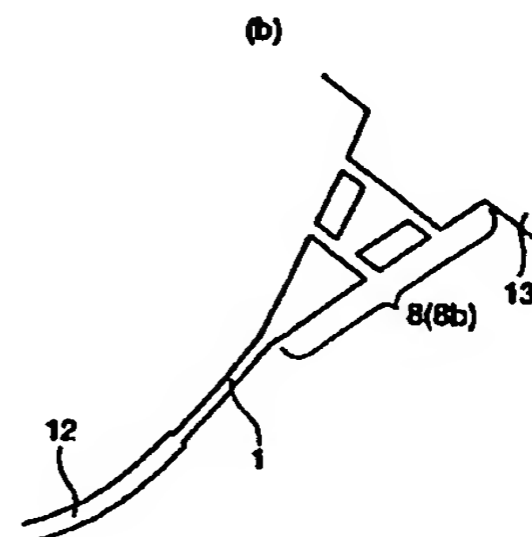
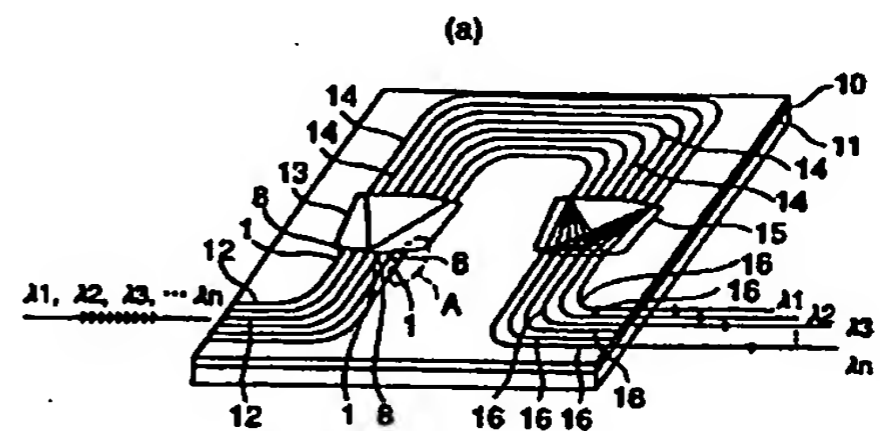
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 アレイ導波路回折格子

(57)【要約】

【課題】 通過スペクトルの中心波長付近に平坦度の良好な平坦化領域を形成できるアレイ導波路回折格子を提供する。

【解決手段】 複数の光入力導波路12の各出射側に各光入力導波路12の幅の0.65倍以下の幅をもった直線導波路1を接続し、その各出射側に信号光のモードフィールドを出射側に向かうにつれて広げるテーパ導波路8を接続し、その出射側に第1のスラブ導波路13、互いに異なる長さの並設した複数のアレイ導波路14、第2のスラブ導波路15、複数の並設した光出力導波路16を順に接続する。光入力導波路12を伝搬してきた光信号のパワーの中心を直線導波路1により幅方向の中心に移動させて該光信号パワー中心をテーパ導波路8の入射端の幅方向中心に入射させることで、テーパ導波路8から出射される光のモードフィールドの歪みを抑制し、通過スペクトルの中心波長付近に良好な平坦化領域を形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 1本以上の並設された光入力導波路の出射側に第1のスラブ導波路が接続され、該第1のスラブ導波路の出射側には該第1のスラブ導波路から導出された光を伝搬する互いに異なる長さの複数の並設されたアレイ導波路が接続され、該複数のアレイ導波路の出射側には第2のスラブ導波路が接続され、該第2のスラブ導波路の出射側には複数の並設された光出力導波路が接続されて成る導波路構成を有し、前記光入力導波路から入力された互いに異なる波長の複数の光信号を、前記アレイ導波路によって各波長ごとに位相差をつけて伝搬させて各波長ごとに異なる光出力導波路に入射させ、互いに異なる波長の光を異なる光出力導波路から出力するアレイ導波路型光回折格子において、前記各光入力導波路の出射側には該光入力導波路の幅よりも狭幅の直線導波路が接続され、さらに、各直線導波路の出射側には信号光のモードフィールドを出射側に向かうにつれて広げるモードフィールド拡大導波路が接続されて、該各モードフィールド拡大導波路の出射側が前記第1のスラブ導波路の入射側に接続されており、前記各直線導波路の幅方向の中心は対応する前記モードフィールド拡大導波路の入射端の幅方向の中心と位置合わせされており、前記各直線導波路の幅を $W_s$ とし、前記各光入力導波路の幅を $W_b$ としたときに、 $W_s/W_b \leq 0.65$ と成していることを特徴とするアレイ導波路回折格子。

【請求項2】 1本以上の並設された光入力導波路の出射側に第1のスラブ導波路が接続され、該第1のスラブ導波路の出射側には該第1のスラブ導波路から導出された光を伝搬する互いに異なる長さの複数の並設されたアレイ導波路が接続され、該複数のアレイ導波路の出射側には第2のスラブ導波路が接続され、該第2のスラブ導波路の出射側には複数の並設された光出力導波路が接続されて成る導波路構成を有し、前記光入力導波路から入力された互いに異なる波長の複数の光信号を、前記アレイ導波路によって各波長ごとに位相差をつけて伝搬させて各波長ごとに異なる光出力導波路に入射させ、互いに異なる波長の光を異なる光出力導波路から出力するアレイ導波路型光回折格子において、前記各光出力導波路の入射側には該光出力導波路の幅よりも狭幅の直線導波路が接続され、さらに、各直線導波路の入射側には信号光のモードフィールドを出射側に向かうにつれて狭めるモードフィールド縮小導波路が接続されて、該各モードフィールド縮小導波路の入射側が前記第2のスラブ導波路の出射側に接続されており、前記各直線導波路の幅方向の中心は対応する前記光出力導波路の入射側の幅方向の中心と位置合わせされており、前記各直線導波路の幅を $W_s$ とし、前記各光出力導波路の幅を $W_b$ としたときに、 $W_s/W_b \leq 0.65$ と成していることを特徴とするアレイ導波路回折格子。

【請求項3】 直線導波路の長さは2000 $\mu$ m以下と

したことを特徴とする請求項1又は請求項2記載のアレイ導波路回折格子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信分野などに使用されるアレイ導波路回折格子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、光通信においては、その伝送容量を飛躍的に増加させる方法として、光波長多重通信の研究開発が盛んに行なわれ、実用化が進みつつある。光波長多重通信は、例えば互いに異なる波長を有する複数の光を波長多重化して伝送させるものであり、このような光波長多重通信のシステムにおいては、伝送される複数の光から、光受信側で波長ごとの光を取り出すために、予め定められた波長の光のみを透過する光透過素子等を、システム内に設けることが不可欠である。

【0003】光透過素子の一例として、例えば図8の(a)に示すようなアレイ導波路回折格子(AWG; Arrayed Waveguide Grating)がある。アレイ導波路回折格子は、基板11上に、同図に示すような導波路構成を有する光導波路部10を形成したものであり、前記導波路構成は、1本以上の並設された光入力導波路12の出射側に、第1のスラブ導波路13が接続され、第1のスラブ導波路13の出射側には、複数の並設されたアレイ導波路14が接続され、複数のアレイ導波路14の出射側には第2のスラブ導波路15が接続され、第2のスラブ導波路15の出射側には複数の並設された光出力導波路16が接続されて形成されている。

【0004】前記アレイ導波路14は、第1のスラブ導波路13から導出された光を伝搬するものであり、互いに異なる長さに形成されている。また、アレイ導波路14、光入力導波路12、光出力導波路16は、いずれも、その太さが均一に形成され、アレイ導波路14、光入力導波路12、光出力導波路16の太さは互いにほぼ等しく形成されている。

【0005】なお、光入力導波路12や光出力導波路16は、例えばアレイ導波路回折格子によって分波される互いに異なる波長の信号光の数に対応させて設けられるものであり、アレイ導波路14は、通常、例えば100本といったように多数設けられるが、同図においては、図の簡略化のために、これらの各導波路12、14、16の本数を簡略的に示してある。また、アレイ導波路回折格子を形成する導波路構成は、一般に、図の破線軸Cに対して対称に形成されている。

【0006】図8の(a)の鎖線枠A内の拡大図の概略図が図8の(b)に示されており、この図に示すように、従来のアレイ導波路回折格子においては、やや湾曲形状の光入力導波路12の出射側が第1のスラブ導波路13の入射側に直接接続されている。また、同様に、第

2のスラブ導波路15の出射側に、やや湾曲形状の光出力導波路16の入射側が直接接続されている。

【0007】光入力導波路12には、例えば送信側の光ファイバが接続されて、波長多重光が導入されるようになっており、光入力導波路12を通過して第1のスラブ導波路13に導入された光は、その回折効果によって広がって複数の各アレイ導波路14に入射し、各アレイ導波路14を伝搬する。

【0008】各アレイ導波路14を伝搬した光は、第2のスラブ導波路15に達し、さらに、光出力導波路16に集光されて出力されるが、各アレイ導波路14の長さが互いに異なることから、各アレイ型導波路14を伝搬した後、個々の光の位相にずれが生じ、このずれ量に応じて集束光の波面が傾き、この傾き角度により集光する位置が決まるため、波長の異なった光の集光位置は互いに異なることになり、その位置に光出力導波路16を形成することによって、波長の異なった光を各波長ごとに異なる光出力導波路16から出力できる。

【0009】例えば、同図に示すように、1本の光入力導波路12から波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\dots$ ,  $\lambda_n$  ( $n$ は4以上の整数)の波長多重光を入力させると、これらの光は、第1のスラブ導波路13で広げられ、アレイ導波路14に到達し、第2のスラブ導波路15を通過して、前記の如く、波長によって異なる位置に集光され、互いに異なる光出力導波路16に入射し、それぞれの光出力導波路16を通過して、光出力導波路16の出射端から出力される。そして、各光出力導波路16の出射端に光出力用の光ファイバを接続することにより、この光ファイバを介して、前記各波長の光が取り出される。

【0010】このアレイ型導波路回折格子においては、回折格子の波長分解能が回折格子を構成する各アレイ導波路14の長さの差( $\Delta L$ )に比例するために、 $\Delta L$ を大きく設計することにより、従来の回折格子では実現できなかった波長間隔の狭い波長多重光の光合分波が可能となり、高密度の光波長多重通信の実現に必要とされている、複数の信号光の光合分波機能、すなわち、波長間隔が1nm以下の複数の光信号を分波または合波する機能を果たすことができる。

【0011】ところで、アレイ導波路回折格子は、前記の如く、例えば光波長多重通信のシステム等に適用されるもので、伝送される複数の光から、光受信側で波長ごとの光を取り出すために用いられるので、アレイ導波路回折格子において、出力する光信号の中心波長がずれることは致命的問題である。

【0012】しかしながら、例えば、石英系導波路を用いたアレイ導波路回折格子では、アレイ導波路14に屈折率温度依存性があり、このため、外部環境温度により通過スペクトルの中心波長(アレイ導波路回折格子の各光出力導波路16からの出力光の中心波長)がずれてしまう。そこで、これを防止するため、アレイ導波路回折

格子をペルチェで温調する方法、ヒーターにより高温に加熱する方法等の対策を施し、アレイ導波路14の屈折率温度依存性によって引き起こされるアレイ導波路回折格子の通過スペクトル中心波長ずれを抑制するようにしている。

【0013】しかしながら、光入力導波路12の曲がり構造や、アレイ導波路14のコア幅(導波路幅)、コア厚(導波路の厚み)及び屈折率の作製誤差によっても、前記通過(透過)スペクトルの中心波長ずれが発生し、このような作製誤差によるアレイ導波路回折格子の通過スペクトル中心波長ずれは、上記温度制御によって抑制することはできない。

【0014】そこで、上記各通過スペクトルの中心波長ずれを抑制することが困難であれば、いっそのこと、アレイ導波路回折格子を通過した各光の通過スペクトルが、例えば図9に示すようなスペクトルになるように、すなわち、光透過中心波長の長波長側と短波長側に平坦化領域が形成されるように設計することで、光透過中心波長が多少ずれても、十分なアイソレーションがとれるようにし、アレイ導波路回折格子の光入力導波路12の曲がり構造や、アレイ導波路14の前記パラメータの作製誤差が生じて、アレイ導波路回折格子を問題なく機能できるようにしたものが提案されている。

【0015】このようなアレイ導波路回折格子は、フラットバンドバスタイプのアレイ導波路回折格子と呼ばれており、例えば図10の(a)、(b)に示すように、各光入力導波路12の出射側に、出射側に向かうにつれて導波路幅が拡大するテーパ導波路8(8a, 8b)を設けて構成される。

【0016】図10の(a)示すテーパ導波路8aはパラボリックテーパ導波路であり、図10の(b)に示すテーパ導波路8bはスリットテーパ導波路(特願平10-237440参照)であり、これらのテーパ導波路8は、信号光のモードフィールドを出射側に向かうにつれて広げるモードフィールド拡大導波路として機能する。また、このようなテーパ導波路8はモードフィールド拡大機能によって、アレイ導波路回折格子の通過スペクトルに図9に示した平坦化領域を形成することから、平坦化コアパターンと称される場合がある。

【0017】以下、フラットバンドバスタイプのアレイ導波路回折格子について、詳細に説明する。一般に、アレイ導波路回折格子の通過スペクトルは、光入力導波路12から出射される光が第1のスラブ導波路13に入力する際の、第1のスラブ導波路13の入射境界面でのモードフィールドと、第2のスラブ導波路15から出射される光が光出力導波路16に入力する際の、光出力導波路16の入射境界面でのモードフィールドとの重ね合わせ積分で与えられる。

【0018】それゆえ、光入力導波路12からの出射光のモードフィールドを歪み無く広げてスラブ導波路13

に入射させれば、アレイ導波路回折格子を透過する光の通過スペクトルを、図9に示したように平坦化領域を有する通過スペクトルとすることができる。また、第2のスラブ導波路15からの出射光のモードフィールドを歪み無く狭めて光出力導波路16に入射させれば、アレイ導波路回折格子の通過スペクトルを、同様に、平坦化領域を有する通過スペクトルとすることができる。

【0019】上記2つの方法は、アレイ導波路回折格子の相反性から同等の効果となるため、上記いずれかを行なえば、アレイ導波路回折格子の通過スペクトルを、平坦化領域を有する通過スペクトルとすることができる。したがって、前記の如く、図10の(a)、(b)に示すように、各光入力導波路12の出射側にテーパ導波路8(8a, 8b)を設け、光入力導波路12を伝搬してきた信号光のモードフィールドを出射側に向かうにつれて広げることにより、フラットバンドバスタイプのアレイ導波路回折格子を形成することができる。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】ところで、テーパ導波路8のようなモードフィールド拡大導波路で信号光のモードフィールド形状を広げる方法は、モードフィールド拡大導波路内で高次モード成分を発生伝搬させることにより得られる方法であるから、モードフィールド拡大導波路の入力の中心位置に光が入力した場合に、均一な高次モード成分が発生伝搬し、歪みのないモードフィールド形状を形成し、光通過スペクトルの中心波長の長波長側および短波長側に平坦なモードパターンが得られる。

【0021】一方、モードフィールド拡大導波路の入力の中心位置からずれた位置に光が入射した場合には、均一でない高次モード成分が発生伝搬することにより、歪んだモードフィールド形状となり、光通過スペクトルの中心波長の長波長側および短波長側に形成される平坦化領域の平坦度が劣化したモードパターンが得られることになる。

【0022】しかしながら、前記の如く、光入力導波路12は曲線状態で形成されているため、伝搬する光は曲線状態の光入力導波路12の中心から外れて進み、光入力導波路12を伝搬していく光パワーの中心は、光入力導波路12の曲率半径に依存して光入力導波路12の中心から外れ、また、光入力導波路12の構造パラメータ(コア厚、コア幅、屈折率)の作製誤差によっても、光パワーの中心が、光入力導波路12の中心から外れてしまう。

【0023】このため、この光パワーの中心が、テーパ導波路8のようなモードフィールド拡大導波路の中心に入射することはほとんどありえず、そうすると、均一でない高次モード成分が発生伝搬し、図10の(a)に示すように、テーパ導波路8の出射モードフィールドは大きく歪み、テーパ導波路8によって、光入力導波路12からの出射光のモードフィールドを歪み無く広げてスラ

ブ導波路13に入射させることができなくなる。

【0024】したがって、図11に示されるように、従来のフラットバンドバスタイプのアレイ導波路回折格子においては、通過スペクトルの平坦化領域の平坦度が悪く、かつスペクトル全体の形状が歪んでいるものが多く見受けられ、図9に示したような設計通りの通過スペクトルを得られるアレイ導波路回折格子を形成することは非常に困難であった。

【0025】本発明は上記課題を解決するために成されたものであり、その目的は、通過スペクトルの中心波長の長波長側および短波長側に平坦度の良好な平坦化領域を形成することができ、それにより、アレイ導波路回折格子を形成する光入力導波路やアレイ導波路等の作製誤差により光透過中心波長がずれても、十分なアイソレーションがとれる、歩留まりの高いアレイ導波路回折格子を提供することにある。

【0026】

【課題を解決するための手段】本発明は、次のような手段をもって上記の課題を解決する。すなわち、第1の発明は、1本以上の並設された光入力導波路の出射側に第1のスラブ導波路が接続され、該第1のスラブ導波路の出射側には該第1のスラブ導波路から導出された光を伝搬する互いに異なる長さの複数の並設されたアレイ導波路が接続され、該複数のアレイ導波路の出射側には第2のスラブ導波路が接続され、該第2のスラブ導波路の出射側には複数の並設された光出力導波路が接続されて成る導波路構成を有し、前記光入力導波路から入力された互いに異なる波長の複数の光信号を、前記アレイ導波路によって各波長ごとに位相差をつけて伝搬させて各波長ごとに異なる光出力導波路に入射させ、互いに異なる波長の光を異なる光出力導波路から出力するアレイ導波路型光回折格子において、前記各光入力導波路の出射側には該光入力導波路の幅よりも狭幅の直線導波路が接続され、さらに、各直線導波路の出射側には信号光のモードフィールドを出射側に向かうにつれて広げるモードフィールド拡大導波路が接続されて、該各モードフィールド拡大導波路の出射側が前記第1のスラブ導波路の入射側に接続されており、前記各直線導波路の幅方向の中心は対応する前記モードフィールド拡大導波路の入射端の幅方向の中心と位置合わせされており、前記各直線導波路の幅を $W_s$ とし、前記各光入力導波路の幅を $W_b$ としたときに、 $W_s/W_b \leq 0.65$ と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0027】また、第2の発明は、1本以上の並設された光入力導波路の出射側に第1のスラブ導波路が接続され、該第1のスラブ導波路の出射側には該第1のスラブ導波路から導出された光を伝搬する互いに異なる長さの複数の並設されたアレイ導波路が接続され、該複数のアレイ導波路の出射側には第2のスラブ導波路が接続され、該第2のスラブ導波路の出射側には複数の並設され

た光出力導波路が接続されて成る導波路構成を有し、前記光入力導波路から入力された互いに異なる波長の複数の光信号を、前記アレイ導波路によって各波長ごとに位相差をつけて伝搬させて各波長ごとに異なる光出力導波路に入射させ、互いに異なる波長の光を異なる光出力導波路から出力するアレイ導波路型光回折格子において、前記各光出力導波路の入射側には該光出力導波路の幅よりも狭幅の直線導波路が接続され、さらに、各直線導波路の入射側には信号光のモードフィールドを出射側に向かうにつれて狭めるモードフィールド縮小導波路が接続されて、該各モードフィールド縮小導波路の入射側が前記第2のスラブ導波路の出射側に接続されており、前記各直線導波路の幅方向の中心は対応する前記光出力導波路の入射側の幅方向の中心と位置合わせされており、前記各直線導波路の幅を $W_s$ とし、前記各光出力導波路の幅を $W_b$ としたときに、 $W_s/W_b \leq 0.65$ と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0028】さらに、第3の発明は、上記第1又は第2の発明の構成に加え、前記直線導波路の長さは2000 $\mu m$ 以下とした構成をもって課題を解決する手段としている。

【0029】上記構成の第1の発明においては、各光入力導波路の出射側には該光入力導波路の幅よりも狭幅の直線導波路が接続され、さらに、各直線導波路の出射側には信号光のモードフィールドを出射側に向かうにつれて広げるモードフィールド拡大導波路が接続されて、前記各直線導波路の幅方向の中心は対応する前記モードフィールド拡大導波路の入射端の幅方向の中心と位置合わせされているため、前記直線導波路によって、光入力導波路を伝搬してきた光の余分な高次モード成分を除去し、かつ光パワーの中心を直線導波路中心に移動させることができ、光パワー中心を常にモードフィールド拡大導波路の幅方向中心に入射することができる。

【0030】ただし、本発明者が前記各直線導波路の幅を $W_s$ とし、前記各光入力導波路の幅を $W_b$ としたときの $W_s/W_b$ の値を様々に変えて、直線導波路が上記のような機能を十分に発揮することができるかどうかを実験により確認したところ、 $W_s/W_b \leq 0.65$ のときにのみ、直線導波路によって上記機能を十分に発揮することができ、 $W_s/W_b$ が0.65よりも大きいときには、直線導波路を設けても上記機能を十分に発揮できないことが分かった。

【0031】上記第1の発明は、上記本発明者の検討結果に基づき、各光入力導波路の出射側と各モードフィールド拡大導波路との間に設ける各直線導波路の幅を最適な値( $W_s/W_b \leq 0.65$ )としたものであるから、上記のように、光入力導波路を伝搬してきた光の余分な高次モード成分を除去し、光信号パワー中心を前記モードフィールド拡大導波路の入射端の幅方向の中心に入射させることができ、それにより、モードフィールド拡大

導波路内で均一な高次モード成分が発生伝搬することになり、モードフィールド拡大導波路を出射するモードフィールド形状が全体的に歪みがなくなる。したがって、アレイ導波路回折格子の通過スペクトルの中心波長の長波長側および短波長側に平坦度の良好な平坦化領域が形成される。

【0032】また、アレイ導波路回折格子は相反性を有しているために、第2の発明において、第2のスラブ導波路、モードフィールド縮小導波路、直線導波路、光出力導波路の順に接続し、各直線導波路の幅 $W_s$ と各光出力導波路の幅 $W_b$ との比 $W_s/W_b \leq 0.65$ と成して、 $W_s/W_b$ の値を第1の発明と同様に適切にすることによって、第2のスラブ導波路からの出射光のモードフィールドが縮小されて直線導波路に入力したときに、各直線導波路がモードフィールド縮小導波路を伝搬してきた光信号のパワーの中心を直線導波路の幅方向の中心に移動させて該光信号パワー中心を前記光出力導波路の幅方向の中心に入射させると共に、モードフィールド形状の歪みも抑制されて光出力導波路に入射され、アレイ導波路回折格子の通過スペクトルの中心波長の長波長側および短波長側に平坦度の良好な平坦化領域が形成される。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、本実施形態例の説明において、これまでの説明で示したアレイ導波路回折格子と同一名称部分には同一符号が伏してあり、その重複説明は省略する。図1の(a)には、本発明に係るアレイ導波路回折格子の第1実施形態例の要部構成図が、その動作と共に模式的に示されており、図1の(b)には、同図の(a)に破線枠A内の拡大図が示されている。

【0034】本実施形態例は、図1の(a)に示すように、図8に示した従来のアレイ導波路回折格子とはほぼ同様に構成されており、本実施形態例が従来例と異なる特徴的なことは、図1の(b)に示すように、各光入力導波路12の出射側に、光入力導波路12の幅よりも狭幅の直線導波路1を接続し、さらに、各直線導波路1の出射側にモードフィールド拡大導波路としてのテーパ導波路8を接続し、各テーパ導波路8の出射側を第1のスラブ導波路13の入射側に接続したことで、各直線導波路1の幅 $W_s$ と各光入力導波路12の幅 $W_b$ との比 $W_s/W_b$ を0.65以下としたことである。

【0035】各直線導波路1の幅方向の中心は対応するテーパ導波路8の入射端の幅方向の中心と位置合わせされており、前記各直線導波路1は各直線導波路1に接続されている光入力導波路12を伝搬してきた光信号のパワーの中心を直線導波路1の幅方向の中心に移動させて該光信号パワー中心をテーパ導波路8の入射端の幅方向の中心に入射させる光パワー中心位置調整手段と成して

いる。なお、本実施形態例では、テーパ導波路8はスリットテーパ導波路とした。

【0036】各光入力導波路12、アレイ導波路14、光出力導波路16は、それぞれ、膜厚を6.5μm、幅を6.5μmとし、直線導波路1の幅は2.5μm、長さは1000μmとした。また、各導波路1, 12, 1\*

$$\Delta = [ \{ (n_1)^2 - (n_b)^2 \} / 2 (n_1)^2 ] \times 100 \dots (1)$$

【0038】ところで、本発明者は、本実施形態例の構成を決定するために、図2に示すように、直線状の光入力導波路12の出射側に、光入力導波路12より幅狭の直線導波路1を接続し、直線導波路1の出射側にモードフィールド拡大導波路であるテーパ導波路8を接続し、テーパ導波路8の出射側に第1のスラブ導波路13の入射側を接続した導波路構成を形成し、この導波路構成を用いて、ビーム伝搬法(BPM)により以下の計算実験を試みた。

【0039】すなわち、実際のアレイ導波路回折格子を形成する光入力導波路12は、曲がった構造を呈しているため、この曲線状の光入力導波路12の光パワー中心が、導波路中心からずれてしまうことが殆どであるため、この状態を模擬的に実験するため、図2に示す直線状態の光入力導波路12の入射端に接続される光ファイバ(図示されていない)のコアを1μm軸ずれさせた状態にして光ファイバの入射端から光を入射させ、光入力導波路12を伝搬する光パワー中心を光入力導波路12の幅方向の中心(光軸中心)から1μmずらした。

【0040】以上の条件のもとで、ビーム伝搬法によるシミュレーションを行い、テーパ導波路8の終端(出射端)でのモードフィールドを計算し、図3に示すように、テーパ導波路8の終端の幅方向のポジション(位置)を規格化して、この規格化ポジションにおけるモードフィールドの規格化光出力(規格化強度)を求めた。

【0041】なお、上記モードフィールドの計算に用いたパラメータの値は、光入力導波路12から入力する信号光波長=1.55μm、比屈折率差Δ=0.80%、光入力導波路12の膜厚=6.5μm、光入力導波路12の幅Wb=6.5μm、直線導波路1の長さ=500μm、直線導波路1の幅Ws=1.5μm、3.0μm、4.5μm、6.5μmとし、図3において、直線導波路1の幅Wsが1.5μmのものを■、幅Wsが3.0μmのものを◇、幅Wsが4.5μmのものを▲、幅Wsが6.5μmのものを●により示した。

【0042】図3から明らかなように、直線導波路1の幅が広くなると(すなわち、直線導波路1の幅が光入力導波路12の幅に近づくと)、テーパ導波路8の終端での光パワー分布が大きく歪んでいるのがわかる。逆に直線導波路1の幅が狭くなるとテーパ導波路8の終端での光パワー分布の歪みが小さくなり、直線導波路1の幅が3μm以下では光パワー分布の歪みが殆ど無いことがわかる。

\*4, 16のシリコン基板11との比屈折率差Δは0.80%とした。なお、比屈折率差Δは、真空の屈折率を1としたときの各導波路1, 12, 14, 16の比屈折率をn1、シリコン基板の比屈折率をnbとしたときに、次式(1)により定義されるものである。

【0037】

【0043】そこで、本発明者は、図3の結果に基づいて、図4の(a)に示すように、直線導波路1の幅Wsを光入力導波路12の幅Wbに対して規格化したWs/Wbに対し、図3において2つの山に分かれた光パワーPaとPbの比(Pa/Pb)の関係を求め、直線導波路1の幅とテーパ導波路8の終端におけるモードフィールドパワー分布の歪みとの関係を調べた。

【0044】その結果、Ws/Wbが0.65以下の時には、光パワーPaとPbの比(Pa/Pb)がほぼ1になり、光パワーPaとPbとがほぼ一致することが分かった。このように、光パワーPaとPbとがほぼ一致することは、テーパ導波路8の終端におけるモードフィールドパワー分布の歪みが殆ど無い状態を示しており、このときには、アレイ導波路回折格子の通過スペクトル中心波長に、図9に示したような平坦化領域が形成されることになる。

【0045】また、本発明者は、図3の結果に基づいて、図4の(b)に示すように、直線導波路1の長さLをパラメータとしたときの過剰損失を求めた。直線導波路1は光入力導波路12に比べて幅が狭いことから、その分だけ光の閉込め効果がやや弱くなっているため、直線導波路1の周りに光の放射が生じ、その光放射によって損失が生じると考えられる。前記過剰損失は、この放射損失を図3に基づいて計算により求めたものである。なお、図4の(b)に示す結果は、前記Ws/Wb=0.65として求めた結果を示しており、この図から明らかなように、直線導波路の長さが2000μm以下の時に、過剰損失が小さく一定となっていることが分かった。

【0046】以上の計算結果に基づき、本実施形態例では、前記の如く、各光入力導波路12、アレイ導波路14、光出力導波路16は、それぞれ、膜厚を6.5μm、幅を6.5μmとし、それに対し、直線導波路1の幅は、光入力導波路12の幅よりも狭い2.5μm(前記Ws/Wbは約0.385)とし、直線導波路1の長さは1000μmとした。

【0047】本実施形態例は以上のように構成されており、本実施形態例のアレイ導波路回折格子は、以下のようにして製造される。すなわち、まず、シリコン基板11上に火炎加水分解堆積法によりアンダークラッド膜(SiO2-B2O3-P2O5系)とコア膜(SiO2-B2O3-P2O5-GeO2系)を形成し、その後、図1に示す導波路構成を形成するフォトリソグラフィ法とリア

クティブイオンエッチング法によりコア膜に前記フォトマスクのパターンを転写加工し、焼結ガラス化形成した。このようにしてコアにより前記導波路構成を形成し、その後、火炎加水分解堆積法により埋め込み用クラッドガラス微粒子を堆積し、焼結ガラス化形成し、アレイ導波路回折格子とした。

【0048】次に、本実施形態例のアレイ導波路回折格子の動作について説明する。本実施形態例においても、従来のアレイ導波路回折格子と同様に、光入力導波路12には、例えば送信側の光ファイバが接続されて、波長多重光が導入されるようになっているが、本実施形態例では、光入力導波路12を通った光は、直線導波路1に入射し、直線導波路1によって、光入力導波路を伝搬してきた光の余分な高次モード成分が除去される。また、光パワーの中心が直線導波路1の中心に移動させられ、光パワーの中心がテーパ導波路8の幅方向の中心に入射する。

【0049】そうすると、テーパ導波路8内で均一な高次モード成分が発生伝搬することになり、モードフィールド形状が全体的に歪みのない形状となってテーパ導波路8の終端（出射端）から出射され、第1のスラブ導波路13に入射する。

【0050】そして、第1のスラブ導波路13に導入された光は、従来例と同様に、その回折効果によって広がって複数の各アレイ導波路14に入射し、各アレイ導波路14を伝搬し、さらに、第2のスラブ導波路15、光出力導波路16と伝搬していき、光出力導波路16から出射されるが、本実施形態例では、上記のように、テーパ導波路8の終端（出射端）から出射される光のモードフィールド形状が全体的に歪みのない形状となって第1のスラブ導波路13に入射するため、各光出力導波路16から出射される通過スペクトルは、図9に示したような、ほぼ設計通りの、平坦度の良好な平坦化領域を有する光となる。

【0051】そして、例えば各光出力導波路16の出射端に光出力用の光ファイバを接続することにより、この光ファイバを介して、図9に示したような平坦化領域を有する各波長の光が取り出される。

【0052】図5には、本実施形態例のアレイ導波路回折格子の通過スペクトルを測定した結果の一例が示されており、各光出力導波路16から出力される通過スペクトルは、いずれも、同図に示すような、全体形状の歪みもほとんどないほぼ理想的なスペクトル形状となり、かつ過剰損失も問題ないことが確認された。

【0053】本実施形態例によれば、光入力導波路12の出射側に、光入力導波路12よりも幅狭の直線導波路1を設け、この直線導波路1の幅を適切な値としたものであるから、直線導波路1によって、光入力導波路12を伝搬してきた光の余分な高次モード成分を除去し、かつ光パワーの中心を直線導波路12の幅方向の中心に移

動させることができ、光信号パワー中心をテーパ導波路8の幅方向の中心に入射させることができるために、テーパ導波路8内で均一な高次モード成分が発生伝搬させることができ、テーパ導波路8を出射するモードフィールド形状を全体的に歪みのない状態とすることができる。

【0054】したがって、本実施形態例のアレイ導波路回折格子は、通過スペクトルの中心波長の長波長側および短波長側に、設計通りの平坦度の良好な平坦化領域を形成することができ、たとえアレイ導波路回折格子を形成する光入力導波路12やアレイ導波路14等の作製誤差により光透過中心波長が多少ずれても、十分なアイソレーションがとれる、歩留まりの高いアレイ導波路回折格子とすることができる。

【0055】また、本実施形態例によれば、本発明者の検討に基づいて直線導波路1の長さを2000 $\mu\text{m}$ 以下の1000 $\mu\text{m}$ としたために、前記過剰損失も少ないものとすることができ、アレイ導波路回折格子を透過する光の損失を低損失にすることができる。

【0056】次に、本発明に係るアレイ導波路回折格子の第2実施形態例について説明する。本第2実施形態例のアレイ導波路回折格子は上記第1実施形態例とほぼ同様に構成されており、本第2実施形態例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、テーパ導波路8をパラボリックテーパ導波路としたことである。すなわち、本第2実施形態例では、図1の(a)の破線枠A内の拡大図が図6に示すようになっている。また、本実施形態例では、直線導波路1の幅は3.0 $\mu\text{m}$ とし、長さは500 $\mu\text{m}$ とした。

【0057】本実施形態例も、上記第1実施形態例と同様にして製造され、同様の動作が行われる。そして、各光出力導波路16から出力される光の通過スペクトル形状は、図7に示すような形状となり、本第2実施形態例も上記第1実施形態例と同様の効果を奏することができる。

【0058】なお、本発明は上記実施形態例に限定されることはなく、様々な実施の態様を取り得る。例えば、上記各実施形態例では、モードフィールド拡大導波路をテーパ導波路8により形成したが、モードフィールド拡大導波路は必ずしもテーパ導波路8とするとは限らず、例えばマルチモードインターフェース導波路(MMI)等のように、形状は四角形状で、その幅方向の両端側に光を閉じ込める機能を有する障壁を備えた導波路により形成してもよく、モードフィールド拡大導波路は、信号光のモードフィールドを出射側に向かうにつれて広げられるような機能を有する導波路であればよい。

【0059】また、上記各実施形態例では、直線導波路1を光入力導波路12の出射側に設けたが、各光出力導波路16の入射側に、光出力導波路16の幅よりも狭幅の直線導波路1を接続し、さらに、各直線導波路1の入

射側には信号光のモードフィールドを出射側に向かうにつれて狭めるモードフィールド縮小導波路を接続し、該各モードフィールド縮小導波路の入射側に第2のスラブ導波路15の出射側に接続してもよい。

【0060】このようにする場合も、各直線導波路1の幅方向の中心を対応する前記光出力導波路の入射端の幅方向の中心と位置合わせし、前記各直線導波路1を、各直線導波路に接続されているモードフィールド縮小導波路を伝搬してきた光信号のパワーの中心を直線導波路1の幅方向の中心に移動させて該光信号パワー中心を前記光出力導波路の幅方向の中心に入射させる光パワー中心位置調整手段として機能させると、アレイ導波路回折格子の相反性から、上記各実施形態例と同様の効果を奏することができる。

【0061】なお、モードフィールド径縮小導波路は、例えば上記各実施形態例でモードフィールド径拡大導波路として適用したテーパ導波路8の接続構造を変えることによって（すなわち、テーパ導波路8の幅の広い側を第2のスラブ導波路15の出射側に接続し、幅の狭い側を光出力導波路16に接続する直線導波路1の入射側に接続することによって）形成することができるし、また、マルチモードインターフェース導波路によっても形成することができる。

【0062】さらに、上記第1実施形態例では、直線導波路1の幅を $2.5\mu\text{m}$ とし、上記第2実施形態例では、直線導波路1の幅を $3.0\mu\text{m}$ としたが、直線導波路1の幅は特に限定されるものではなく、適宜設定されるものであり、直線導波路の幅を $W_s$ とし、光入力導波路12および光出力導波路16の幅を $W_b$ としたときに、 $W_s/W_b \leq 0.65$ となるようにすればよい。

【0063】さらに、上記第1実施形態例では、直線導波路1の長さは、 $1000\mu\text{m}$ とし、上記第2実施形態例では、直線導波路1の長さは $500\mu\text{m}$ としたが、直線導波路1の長さは特に限定されるものではなく、適宜設定されるものであり、例えば、直線導波路1の幅 $W_s$ と光入力導波路12の幅 $W_b$ の比 $W_s/W_b = 0.65$ のときには、直線導波路1の長さを $50\mu\text{m}$ 以上 $2000\mu\text{m}$ 以下とすることにより、前記過剰損失を抑制することができる、アレイ導波路回折格子を透過（通過）する光の損失を低損失にすることができる。

【0064】

【発明の効果】第1の発明によれば、光入力導波路の出射端に接続した直線導波路の幅を適切な値にすることにより、直線導波路によって、光入力導波路を伝搬してきた光の余分な高次モード成分を除去し、かつ光パワーの中心を直線導波路中心に移動させることができ、光パワー中心を直線導波路の出射側に接続したモードフィールド拡大導波路の幅方向中心に入射できるため、モードフィールド拡大導波路内で均一な高次モード成分を発生伝搬させ、モードフィールド拡大導波路を出射するモード

フィールド形状を全体的に歪みの無いものとすることができる。

【0065】したがって、第1の発明によれば、アレイ導波路回折格子の通過スペクトルの中心波長の長波長側および短波長側に平坦度の良好な平坦化領域を形成することができ、たとえアレイ導波路回折格子を形成する光入力導波路やアレイ導波路等の作製誤差により光透過中心波長が多少ずれても、十分なアイソレーションがとれる（すなわち、光透過中心波長ずれに強い）、歩留まりの高いアレイ導波路回折格子とすることができる。

【0066】また、第2の発明によれば、モードフィールド縮小導波路の出射側に設けた直線導波路の幅を適切な値とすることにより、直線導波路によって、モードフィールド縮小導波路を伝搬してきた光信号のパワーの中心を直線導波路の幅方向の中心に移動させて該光信号パワー中心を前記光出力導波路の幅方向の中心に入射させるため、信号光のモードフィールド形状の歪みを抑制した状態で光出力導波路に入射することができ、アレイ導波路回折格子の通過スペクトルの中心波長の長波長側および短波長側に平坦度の良好な平坦化領域を形成でき、第1の発明と同様の効果を奏することができる。

【0067】さらに、第3の発明によれば、上記第1、第2の発明の効果に加え、直線導波路の長さを最適化することによって、アレイ導波路回折格子を透過（通過）する光の損失を低損失にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るアレイ導波路回折格子の第1実施形態例を模式的に示す要部構成図である。

【図2】上記実施形態例の構成を決定するために形成した、直線導波路を介して直線状の光入力導波路をテーパ導波路に接続した導波路構成を示す説明図である。

【図3】図2の導波路構成を用いてビーム伝搬法により求めたモードフィールド形状を示すグラフである。

【図4】図3のグラフに基づいて求めた、直線導波路の幅 $W_s$ と光入力導波路の幅 $W_b$ との比 $W_s/W_b$ に対する光パワー $P_a/P_b$ の関係を示すグラフ（a）と、直線導波路の長さ $L$ と過剰損失との関係を示すグラフ（b）である。

【図5】上記第1実施形態例のアレイ導波路回折格子における通過スペクトルの一例を示すグラフである。

【図6】本発明に係るアレイ導波路回折格子の第2実施形態例における光入力導波路と直線導波路とテーパ導波路と第1のスラブ導波路の接続状態を模式的に示す構成図である。

【図7】上記第2実施形態例のアレイ導波路回折格子における通過スペクトルの一例を示すグラフである。

【図8】従来のアレイ導波路回折格子を示す説明図である。

【図9】通過中心波長付近に平坦化領域を有する通過スペクトルの例を示すグラフである。

15

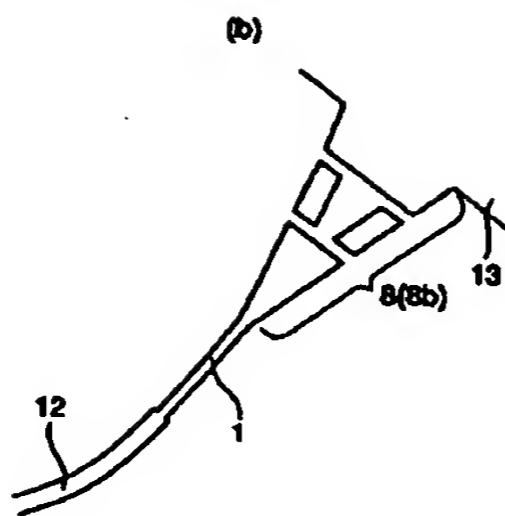
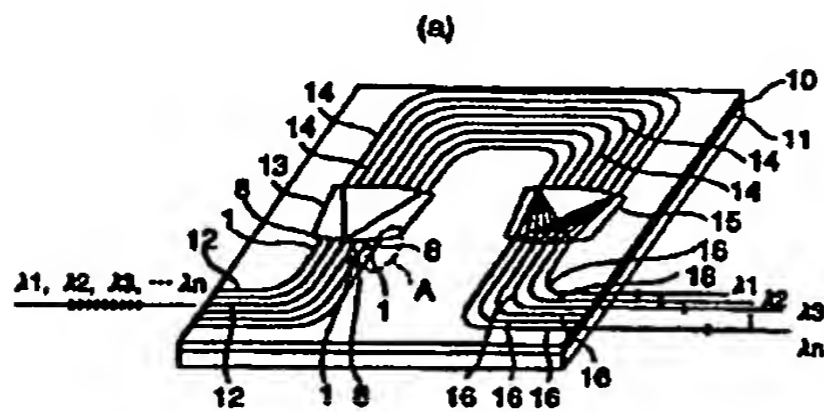
【図10】光入力導波路の出射側と第1のスラブ導波路の入射側との間にテーパ導波路を設けた導波路構成を示す説明図である。

【図11】図10に示すような導波路構成を備えたアレイ導波路回折格子の通過スペクトルの例を示すグラフである。

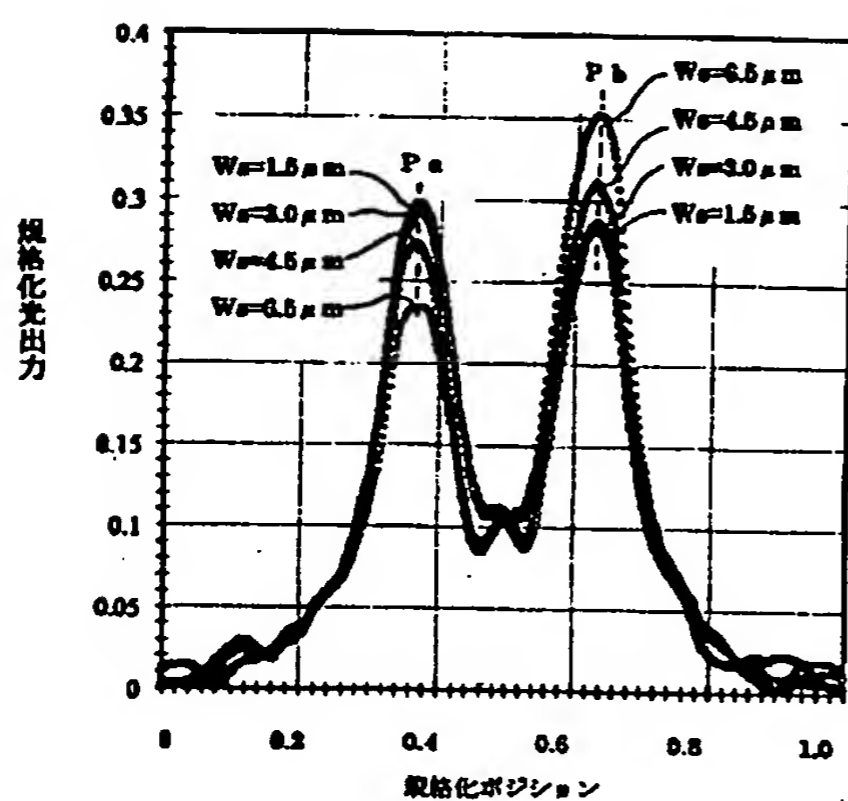
【符号の説明】

1 直線導波路

【図1】



【図3】



16

8, 8 a, 8 b テーパ導波路

10 光導波路部

11 基板

12 光入力導波路

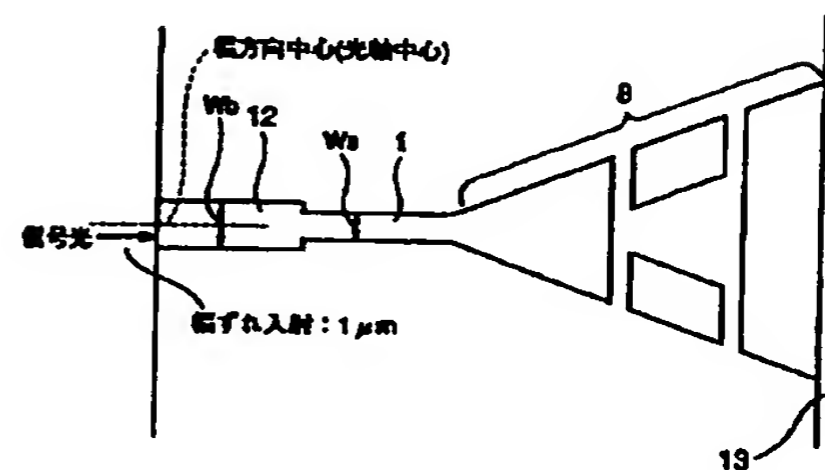
13 第1のスラブ導波路

14 アレイ導波路

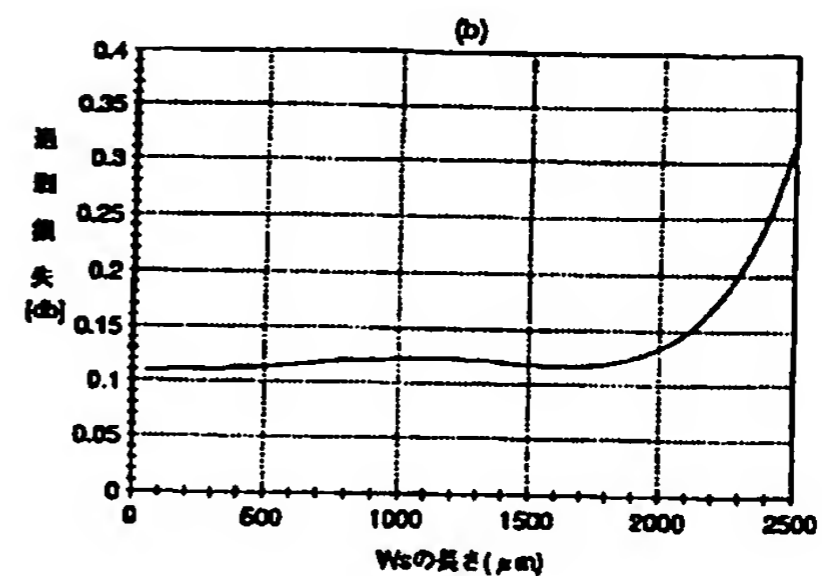
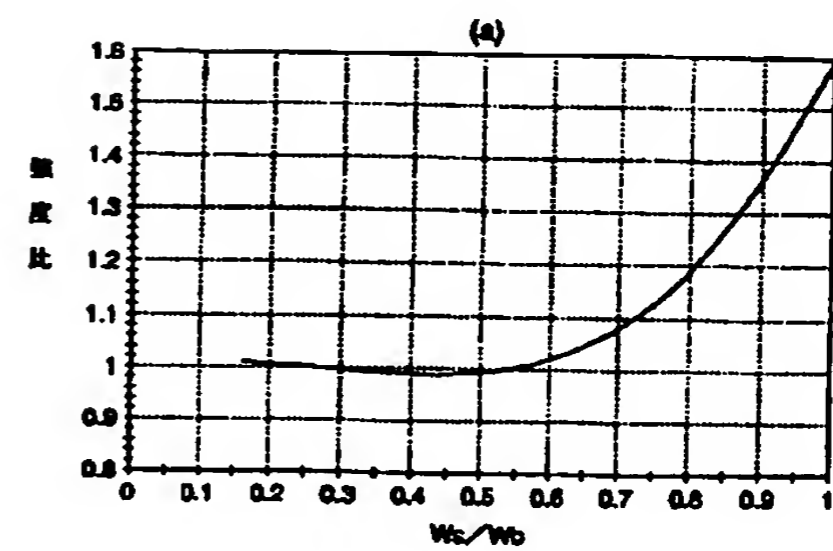
15 第2のスラブ導波路

16 光出力導波路

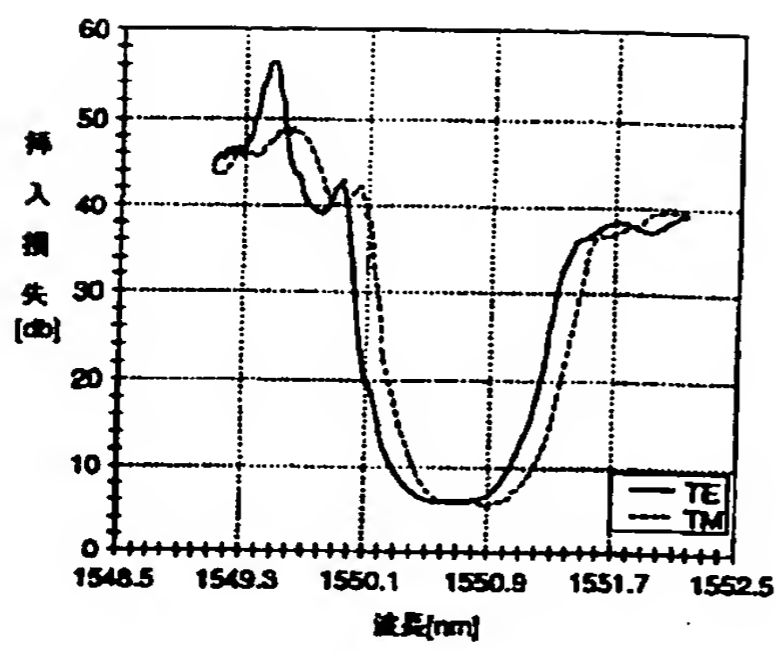
【図2】



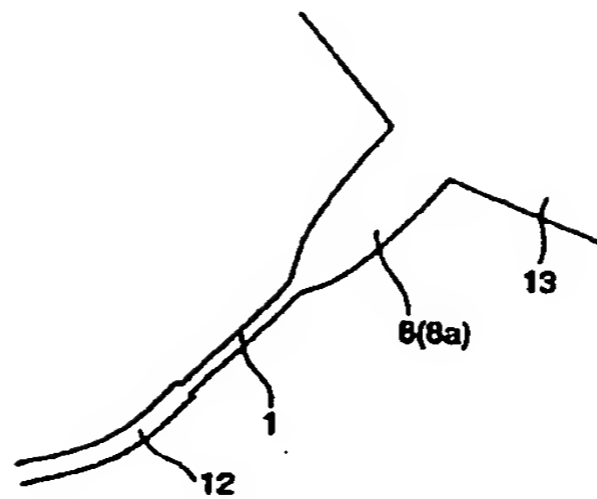
【図4】



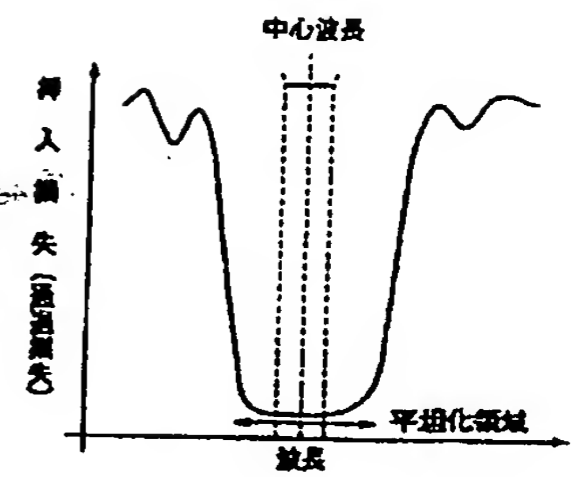
【図5】



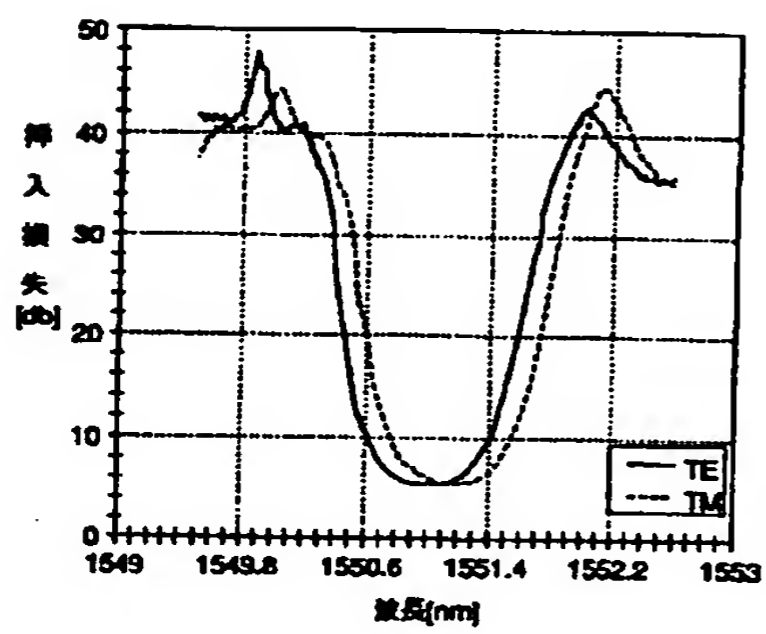
【図6】



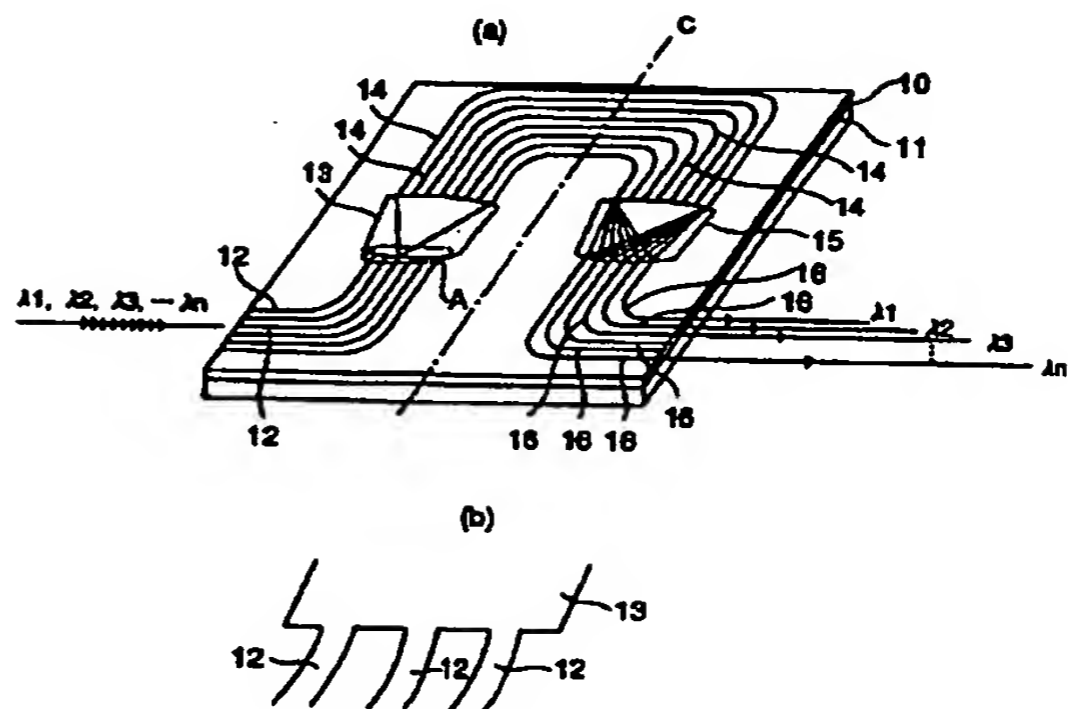
【図9】



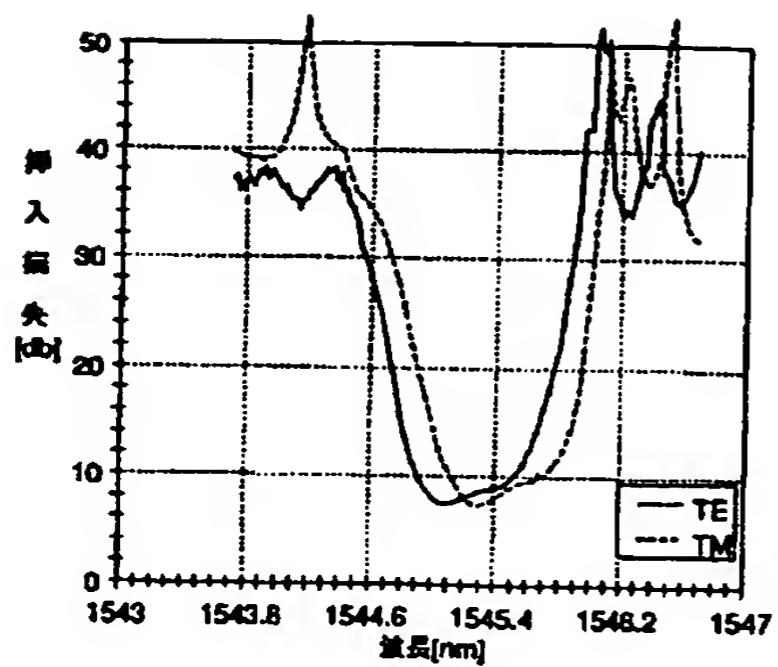
【図7】



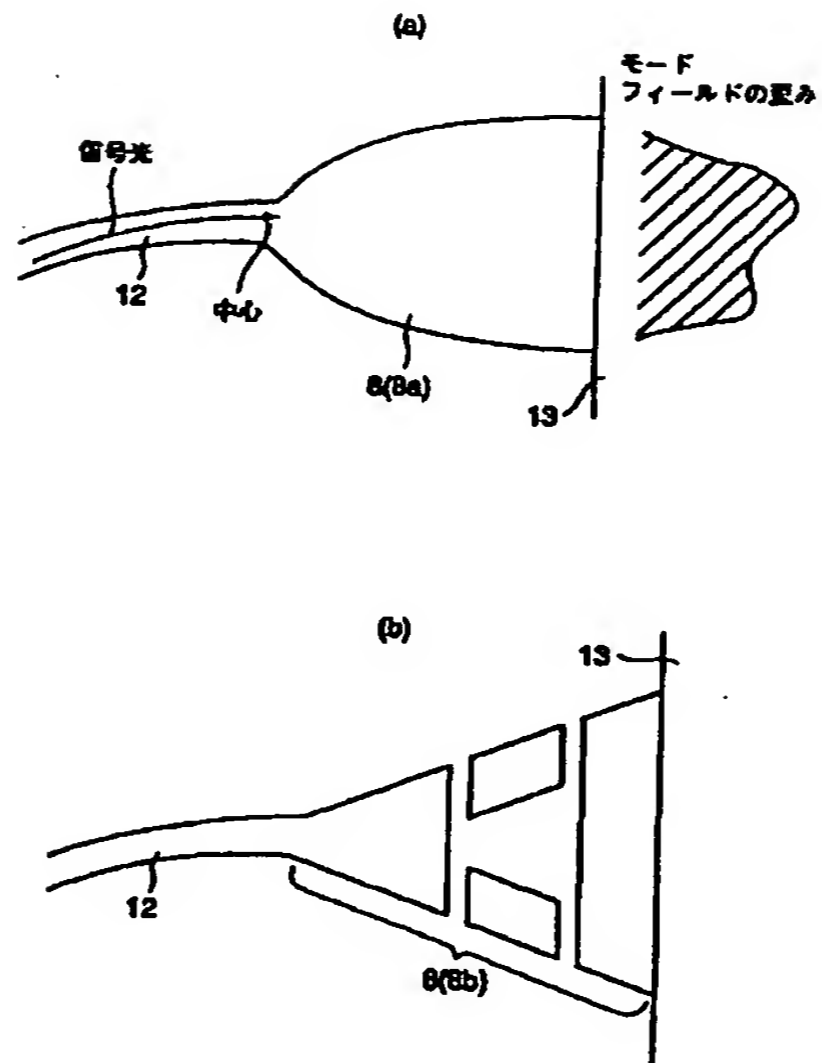
【図8】



【図11】



【図10】




---

フロントページの続き

(72)発明者 柏原 一久  
 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
 河電気工業株式会社内

Fターム(参考) 2H047 KA13 LA19 TA35 TA42  
 2H049 AA45 AA51 AA59 AA62